

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 22.01.2015

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

1. Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf

a. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta_{thj} = 0,603 \quad (1.1)$$

b. Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?

Gegeben ist:

$$T_4 = 50^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K} \quad (1.2)$$

Daraus folgt:

$$T_1 = 813,96 \text{ K} \quad (1.3)$$

Gegeben ist:

$$T_2 = 1100^\circ\text{C} = 1373,15 \text{ K} \quad (1.4)$$

Daraus folgt:

$$T_3 = 545,15 \text{ K} \quad (1.5)$$

c. Wie groß ist der erforderliche **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 1 MW?

$$\frac{dQ_{12}}{dt} = 1,658 \text{ MW} \quad (1.6)$$

d. Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?

$$\dot{m} = 0,567 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.7)$$

e. Wie groß ist die **Turbinenleistung**?

$$P_{23} = 2455,359 \text{ kW} \quad (1.8)$$

f. Wie groß ist die technische **Verdichterleistung**?

$$P_{41} = 1455,453 \text{ kW} \quad (1.9)$$

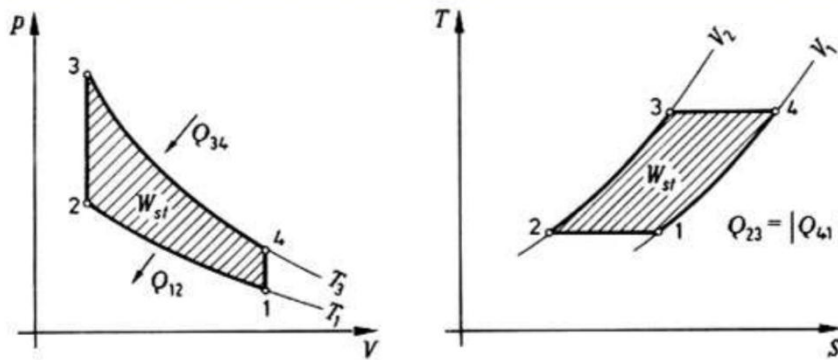
¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation

g. Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**.

$$r_w = 0,407 \quad (1.10)$$

2. Stirlingmotor

a. Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.



- 1 – 2: Isotherme Kompression
- 2 – 3: Isochore innere Wärmezufuhr von einem Regenerator
- 3 – 4: Isotherme Expansion
- 4 – 1: Isochore innere Wärmeabfuhr an den Regenerator

b. Welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = 47,2555 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.1)$$

c. Wie groß ist die erforderliche **obere Temperatur**?

$$T_3 = 737,93 \text{ K (464,78}^\circ\text{C)} \quad (2.2)$$

d. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta_{th} = 57,564\% \quad (2.3)$$

e. Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

$$r_w = 0,432 \quad (2.4)$$

f. Welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen mindestens haben, damit der thermische Wirkungsgrad nicht unter 50% fällt?

$$T_3 = 626,3 \text{ K (353,15}^\circ\text{C)} \quad (2.5)$$

g. Wie groß ist die **Heizleistung** des Kühlwasserkreislaufs (1 – 2)?

$$-P_{Heiz} = \dot{W}_{12} = 7,372 \text{ kW} \quad (2.6)$$

3. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerkes

- a. Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Nennstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.

$$S_{rM} = 10,766 \text{ MVA} \quad (3.1)$$

$$I_{rM} = 1.036 \text{ kA} \quad (3.2)$$

- b. Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den Kurzschlussstrombeitrag.

$$I_A = 6,216 \text{ kA} \quad (3.3)$$

- c. Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA ab, wenn entweder aus dem Haupt- oder aus dem Reservenetz gespeist wird. Nehmen sie dazu an, dass die Kurzschlussleistung des Haupt- bzw. Reservenetzes unendlich groß ist.

Gerechnet mit $c = 1,1$

$$I_k'' = 32,008 \text{ kA} \quad (3.4)$$

- d. Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.

$$R_A = 0,095 \ \Omega \quad (3.5)$$

$$X_A = 0,55 \ \Omega \quad (3.6)$$

- e. Schätzen Sie den **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA ab, wenn alle anderen Lasten abgeschaltet sind und der Motor für die Kesselspeisepumpe anläuft. Vor Zuschaltung des Motors wird dabei die Spannung an der Sammelschiene BBA über den Stufensteller des speisenden Trafos auf 110% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.

$$\underline{U}_{ABB} = (4,999 - j0,208) \text{ kV} \quad (3.7)$$

$$u_{BBA} = 0,834 \quad (3.8)$$

Die Spannung bricht von 110% um 26,6% auf 83,4% ein, also damit um 16,6% unter 100%.

4. Kohlekraftwerk

- a. Welche **Brennstoffzufuhr** [in kg/s] ist für das Fahren unter Nennleistung pro Stunde notwendig?

$$\dot{m}_{\text{Brennstoff}} = 19,139 \text{ kg / s} \quad (3.9)$$

b. Welcher **Brennstoffvolumenstrom** ergibt sich für Punkt a.?

$$\dot{V}_{\text{Brennstoff}} = 51,036 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.10)$$

c. Welcher wasser- und aschefreier **Massenstrom** der **Brennstoffkomponenten** ergibt sich bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{wasserundaschefrei}} = 17,321 \text{ kg}/\text{s} \quad (3.11)$$

d. Bestimmen Sie die **Massenströme der Abgaskomponenten** bei einer Luftüberschusszahl von 1,25.

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 53,794 \text{ kg}/\text{s} \quad (3.12)$$

$$\dot{m}_{\text{SO}_2} = 0,312 \text{ kg}/\text{s}$$

Brennstoff getrocknet

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,415 \text{ kg}/\text{s} \quad (3.13)$$

Brennstoff nicht getrocknet

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 9,085 \text{ kg}/\text{s}$$

$$\dot{m}_{\text{O}_2,\lambda} = 10,904 \text{ kg}/\text{s} \quad (3.14)$$

$$\dot{m}_{\text{N}_2,\lambda} = 179,462 \text{ kg}/\text{s}$$

e. Bestimmen Sie die **Verbrennungstemperatur**.

Berechnung erfolgt mit getrocknetem Brennstoff:

$$\Delta T = 2224,569 \text{ K} \quad (3.15)$$